

原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発

(2) 原子力機器構造不連続部における局部破損の発生と進展に関する研究

Development of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures

(2) Study on Initiation and Propagation of Local Failure at Structural Discontinuities of Nuclear Components

*鳴海 健介¹, 恒本 芳樹², 佐藤 拓哉¹, 笠原 直人¹

¹東京大学, ²東京大学 (現 電中研)

原子炉容器における局部破損の挙動を解明するために、容器のノズル取付け部を模擬した試験体について、破壊試験及び解析を行った。本研究では、筆者らが提案した新しい破壊曲面を適用し、破損モードに及ぼすノズル形状の影響を明らかにするとともに、破損の発生と進展を直接解析する方法を提案することを目指す。

キーワード：構造不連続部, 局部破損, 延性破壊, 破壊曲面, 3軸応力度, 大変形弾塑性解析

1. はじめに

原子炉構造の安全性に対するレジリエンスを向上させるためには、想定外事象による破損が生じた場合でも発生箇所を限定し進展拡大を遅らせるような破壊制御技術の確立が重要となり、それには各破損モードの挙動の評価技術が必須となる。しかし、構造不連続部で発生しうる破損モードである局部破損については十分に解明されていないため、その挙動について明らかにする必要がある。

2. ノズル付き円板試験体の破壊試験と弾塑性有限要素解析

試験体は、円板の中心にノズルを取り付けることで、原子炉容器構造不連続部の形状を模擬する。ノズル部と円板部の剛性比及び剛性の変化率が破損モードと破壊強度に及ぼす影響を調べるために、ノズル肉厚と円弧型フィレットの曲率半径を詳細に変化させた (計 10 種)。試験から、剛性比及び剛性の変化率が大きい試験体では、塑性変形が大きく拘束され、局部破損が生じることがわかった。図 1 は局部破損が発生した試験体の破面である。ノズル部の変形と円板部の絞りが殆どみられず、ノズル取付け部付近に、えぐれたような形状のボイド型の破面が観測される。図 2、図 3 は図 1 に示すモデルの解析結果であり、破損の発生箇所と進展状況を示す。破損に至った要素は赤紫色で表示される。破損はノズル取付け部の板厚中心付近で発生し、ノズル部の一部をえぐり取るように進展している。これは、図 1 の破面の状況とよく一致する。



図 1. 試験後の破面

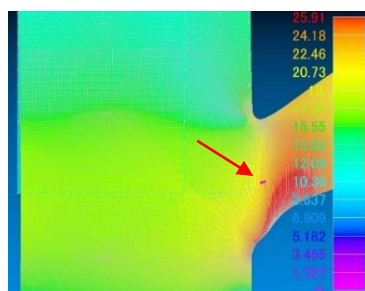


図 2. 破損発生

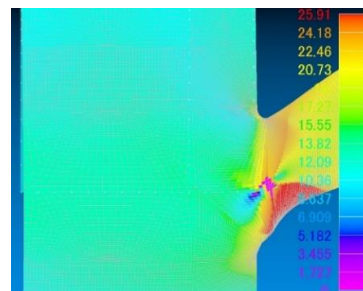


図 3. 破損進展

3. おわりに

原子炉容器構造不連続部を模擬するノズル付き円板試験体の破壊試験から、破損モードに及ぼすノズル部と円板部の剛性比及び剛性の変化率の影響を明らかにした。また、筆者が提案した破壊曲面[1]を有限要素解析プログラムに組み込み、延性破壊と局部破損を直接解析できるようにした。

参考文献

[1] Yoshiki Tsunemoto, Takashi Sakaguchi, Takuya Sato, Naoto Kasahara, “Experimental and Analytical Study on Local Failure of Structure Subjected to High Temperature and Pressure”, PVP2019-93166, (2019)

*Kensuke Narumi¹, Yoshiki Tsunemoto², Takuya Sato¹ and Naoto Kasahara¹

¹Univ. of Tokyo, ²Univ. of Tokyo (Currently CRIEPI).